

**Untersuchungen über die physikalischen
Kräfte im Schußkanal bei
unterschiedlicher Größe und Form der
Geschosse und bei verschiedenen
Geschoßgeschwindigkeiten**

Winfried Hanslmeier

1965

Aus dem Institut für gerichtliche und soziale Medizin der

Universität Frankfurt am Main

Direktor : Prof. Dr. med. J. Gerchow

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE PHYSIKALISCHEN KRÄFTE IM
SCHUSSKANAL BEI UNTERSCHIEDLICHER GRÖSSE UND FORM DER
GESCHOSSE UND BEI VERSCHIEDENEN GESCHOSSGESCHWINDIGKEITEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von
Winfried Hanslmeier
aus Frankfurt am Main

1965

Dekan : Professor Dr. med. H. Frick

Referent : Professor Dr. med. K. Luff

Korreferent : Professor Dr. med. Strnad

Mündliche Prüfung : 26. Februar 1965



MEINEN ELTERN



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551901_0084

Durchschlägt ein Geschöß tierisches oder menschliches Gewebe, so entsteht eine Verletzung, die in ihrer Art und in ihrem Ausmaß von verschiedensten, häufig variablen Faktoren abhängig ist, wobei diese Faktoren sowohl das Projektil, als auch die Eigenart des Gewebes betreffen. Zugleich treten bei der Bildung eines Schußkanals physikalische Kräfte in Erscheinung, die trotz der Entwicklung moderner technischer Hilfsmittel und neuzeitlicher Untersuchungsmethoden nach Art und Größe noch nicht restlos geklärt sind.

Neben dem allgemein klinisch-therapeutischen Interesse an Schußverletzungen, kommt ihnen auch in der gerichtlichen Medizin insofern eine große Bedeutung zu, als Besonderheiten des Ein- und Ausschusses sowie des Verlaufs des Schußkanals und seiner unmittelbaren Umgebung wertvolle Hinweise zur Rekonstruktion des Tatherganges und unter Umständen zur Überführung des Täters geben können. Bei der Bedeutung der Schußverletzungen, namentlich in Kriegszeiten ist es verständlich, daß eine Fülle von Publikationen zu diesem Thema vorliegt. Abhandlungen älterer Autoren, meist Militärärzte und Chirurgen, beschränken sich vor allem auf die Beschreibung und Versorgung der Schußwunden. Habart (6), Kocher (8) und Reger (18) gehen in ihren Arbeiten aber schon auf die abweichende Wirkung verschiedener Projektilarten bei unterschiedlicher Geschwindigkeit ein. In Versuchsreihen wird eine Relation zwischen Geschwindigkeit, Entfernung, Kaliber, Metallsorte, Drall, Art und Elastizität des Gewebes und Wirkung festzustellen gesucht. Besonderen Wert legen die Autoren dabei, ebenso wie Riedinger (20), auf eine Deutung der Explosionswirkung im Bereich des Schußkanals. In Arbeiten von H. Lorenz (11), Cranz (2) und Kutterer (10) wird zum Teil an Hand von photographischen Aufnahmen und ballistischen Erörterungen auf die physikalisch-technische Seite dieses Problems hingewiesen. Mit Hilfe photographischer und röntgenologischer Aufnahmen gelang es R. Lorenz (12) und Piédelièvre (17) genauere Kenntnisse über die Vorgänge bei der Entstehung eines Schußkanals zu erlangen.

Neuere Beobachtungen dieser Art der Geschößwirkung verdanken wir den Veröffentlichungen von Hinricsson (7), Krauss (9) und Elbel (4). In diesem Zusammenhang sei noch auf die zusammenfassende Darstellung von Mueller (15) hingewiesen.

Bei Schießversuchen durch Alginate, einer in der Zahnheilkunde zur Zeit gebräuchlichen Abdruckmasse, gelang es Luff (13) im Jahre 1955, die bei der Entstehung eines Schußkanals freiwerdenden Kräfte plastisch zu fixieren. Regelmäßig traten dabei anstelle des zu erwartenden Schußkanals Pilzbildungen in der Alginatmasse auf, die von einem mehr oder weniger

großen Hohlraum umgeben waren. Die Spitzen der Pilzbildungen reichten oft bis in das Niveau einer über der Alginatmasse liegenden menschlichen oder tierischen Gewebsschicht, die die Aufgabe hatte, den beim Abfeuern der Waffe entstehenden Explosionsdruck abzufangen. Im Bereich des Ausschusses fanden sich kleine muldenförmige Einziehungen. In den unteren Teil des Pilzes waren häufig Sandkörner aus dem zum Abfangen der Projektile vorhandenen Sandkasten eingesaugt. Die Ergebnisse wurden von Luff (13) dahingehend gedeutet, daß die Alginatmasse infolge eines Druckausgleiches unmittelbar nach Entstehung des Schußkanals entgegen der Richtung des Projektils gesaugt bzw. geschleudert wurde. Ronnett (21) konnte diese Ergebnisse bestätigen und durch teilweises Anfärben der Alginatmasse zeigen, daß die den Pilz bildende Abdruckmasse aus dem Bereich des Ausschusses stammte. Außerdem zeigte es sich, daß verschiedenartige Fremdkörper (z. B. Besenhaare), die man in die Nähe des zu erwartenden Ausschusses gebracht hatte, entgegen der Schußrichtung in den Pilz, ja sogar bis in das darüberliegende menschliche oder tierische Gewebe gesaugt wurden. Den Einwand, daß es sich bei dieser Sog- und Druckwirkung um eine spezifische Eigenschaft der bei den Versuchen verwandten Alginatmasse handeln könnte (Wagner) (24), widerlegte Stenger (23), indem er nachwies, daß dieser Effekt bei den verschiedensten Geweben, wie z. B. Leber, Milz, Lunge, Muskel und Gehirn auch ohne zusätzliche Verwendung der Abdruckmasse auftrat.

Ergänzend zu den Versuchen von Stenger (23) sollte nun im Rahmen unserer experimentellen Schießversuche Folgendes festgestellt werden :

1. Ob die beobachteten Sog- und Druckkräfte nach Art und Grad auf die Besonderheiten der verwandten Munition und auf das Kaliber zurückzuführen sind.
2. Ob eine Abhängigkeit zwischen Größe und Stärke der auftretenden Sog- und Druckkräfte und der Geschwindigkeit des Geschosses besteht.
3. Ob die Versuchsergebnisse eine schlüssige physikalische Erklärung zulassen.

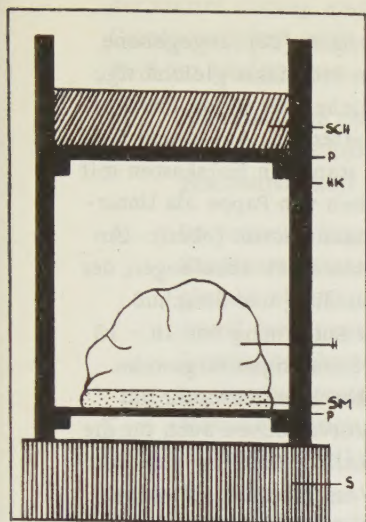


Abb. 1
Schematische Darstellung
der Versuchsanordnung

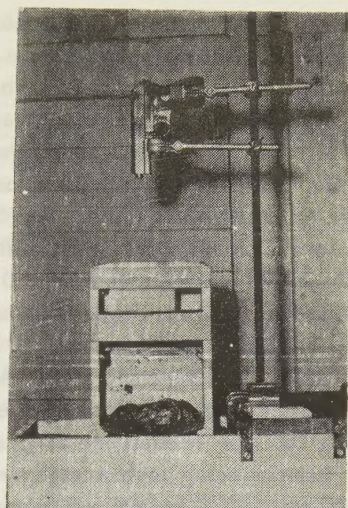


Abb. 2
Versuchsanordnung
(Vgl. Text)

- Sch = Schaumstoff
P = Pappe
H = Hirngewebe
SM = Sägemehlpartikel, umhüllt von Perlongewebe
HK = Holzkasten
S = Sandkasten

290 - 300 m/sec. Die Auftreffenergie beträgt 21,35 mkg. Der Gasdruck ist mit 1650 at angegeben. Die Pulverladung beträgt 0,165 g. Das Geschoß hat ein Gewicht von 4,75 g.

Auf Anfrage bei der Firma "Dynamit-Nobel-Genschow GmbH.", Karlsruhe-Durlach, wurden uns Patronen des gleichen Kalibers mit halber und viertel Treibladung geliefert. Die Patronen mit halber Treibladung hatten bei einem Gasdruck von etwa 347 at eine V_5 (Geschwindigkeit des Projektils

Versuchsanordnung :

Wir haben bei unseren Untersuchungen die von Stenger (23) angegebene Versuchsanordnung (vgl. Abb. 1 u. 2) gewählt, um möglichst gleichartige Bedingungen zu erhalten. Zur Erhöhung der Treffsicherheit wurde die Waffe mit Hilfe von Laborklemmen an einem Stativ befestigt. Auf einem Sandkasten, der zum Auffangen der Projektile diente, stand ein Holzkasten mit kleinen seitlichen Führungsschienen zum Einschieben von Pappe als Unterlage für Hirngewebe (unten) und für eine Lage Schaumgummi (oben). Um den beim Abfeuern der Waffe auftretenden Explosionsdruck abzufangen, der sich bei Entfernungen von 20 - 60 cm zwischen Mündung und Einschuß nachteilig hätte auswirken können, wurde in einer Entfernung von 10 - 15 cm über der Hirnsubstanz das ca. 3 - 5 cm dicke Schaumgummigewebe auf einer Pappschicht befestigt. Als Fremdkörper brachten wir unter das Hirngewebe grüngefärbtes Sägemehl, das sich in Vorversuchen auch für die photographische Wiedergabe als geeignet herausgestellt hatte. Um eine von der Schußwirkung unabhängige Verstreuung oder Verschleppung der Sägemehlteilchen zu verhindern, erwies es sich als zweckmäßig, diese mit einem Damenperlonstrumpf zu umhüllen. (S. Abb. 1 und 2 auf Seite 8)

Geschossen wurde mit folgenden Waffen und Kalibern :

1. Karabiner 98 K mit Einstecklauf für Randfeuerpatronen (der Zündsatz ist unmittelbar am Rand der Hülse eingepreßt) vom Kaliber 4 mm (M 20/4 mm). Es handelt sich dabei um ein Rundgeschloß aus Blei mit einer Anfangsgeschwindigkeit (V_0) von etwa 180 - 200 m/sec.
2. Sportgewehr Marke Walther "Prager Meisterbüchse".
 - a. Verschossen wurden Randfeuerpatronen vom Kaliber 22 lang (5,6 mm), mit einer V_0 von etwa 335 m/sec bei einem Gasdruck von ca. 1300 at und einer Auftreffwucht von 14,6 mkg.
 - b. Außerdem wurde mit Kaliber 22 lang HV (high velocity) mit einer Anfangsgeschwindigkeit von etwa 400 m/sec bei einem Gasdruck von ebenfalls ca. 1300 at und einer Auftreffwucht (E_0) von 20,8 mkg geschossen. Beide Projektilsorten sind Bleigeschosse mit einem Gewicht von 2,55 g. Das Geschloß der HV-Patrone ist verkupfert.
3. Automatische Repetierpistole Kal. 7,65 mm Browning der ehemals böhmischen Waffenfabrik Prag. Die Anfangsgeschwindigkeit der mit dieser Waffe verschossenen Stahlmantelgeschosse liegt bei ca.

5 m nach Verlassen des Laufes) von ca. 145 m/sec. Bei den Patronen mit der viertel Ladung waren nach Angaben der Herstellerfirma Gasdruck und Geschwindigkeit nicht zu messen. Die Geschosse blieben beim Beschuß zu 90 % im Lauf stecken.

4. Automatische Repetierpistole Kal. 6,35 Modell "Duo" der Firma F. Đusek Opatschno. Das Stahlmantelgeschosß erreichte eine Anfangsgeschwindigkeit (V_0) von 230 m/sec.
5. Italienische Repetierpistole Marke Bernadelli. Geschossen wurde mit Randfeuerpatronen des Kalibers 22 lang. Es handelt sich dabei um die gleiche Munition, wie sie unter Nr. 2 bereits beschrieben wurde. Auf Grund der kürzeren Lauflänge wurden hierbei jedoch nicht so hohe Geschwindigkeiten erzielt, wie beim Abfeuern aus dem unter Nr. 2 genannten Sportgewehr. Die Anfangsgeschwindigkeiten lagen für die Normalmunition bei ca. 290 m/sec, für die HV-Munition bei ca. 310 m/sec. (1)

Bei einigen Vorversuchen mit Leber-, Lungen- und Hirngewebe bestätigte sich die Auffassung von Stenger (23), daß sowohl menschliches wie auch tierisches Hirngewebe auf Grund der besonderen Konsistenz und Zellstruktur am besten geeignet ist, die am Schußkanal wirksam werdenden Sog- und Druckkräfte anschaulich darzustellen.

Nach dem Abfeuern der Waffe wurde das Gehirn sofort aus der Versuchsanordnung herausgenommen und das Ergebnis photographisch festgehalten (2). Nach einer Aufsichtsaufnahme wurde der Schußkanal entweder mit einem kreuzförmigen Schnitt vom Einschuß her eröffnet und auseinandergeklappt oder nach einer Seite hin aufpräpariert und so aufgeklappt, daß der ganze Schußkanal in eine Ebene zu liegen kam. Die letzte Art der Präparation hatte den Vorteil, daß der Schußkanal in seiner gesamten Länge auf einen Blick zu übersehen war und sich bei den Aufnahmen eine genügende Tiefenschärfe erreichen ließ. Allerdings war bei dieser Art der Schußkanaleröffnung zu beachten, daß die Schnittführung stets in der Richtung vom Niveau des Einschusses zum Ausschuß hin erfolgte, um zu vermeiden, daß durch die Präparation Fremdkörper in die Gegend des Einschusses ver-

-
- (1) Sämtliche ballistischen Daten wurden uns freundlicherweise von der Firma "Dynamit-Nobel-Genschow GmbH." zur Verfügung gestellt.
 - (2) Die photographischen Aufnahmen wurden von uns mit einer Leica III f, Elmar 5 cm mit Naheinstellgerät auf Agfa Color Umkehrfilm CT 18 und Braun Hobby Elektronenblitz gemacht.

schleppt werden konnten.

Aus einer Reihe von 58 Versuchen wurden diejenigen ausgewählt, die für die entsprechenden Waffen- und Munitionstypen charakteristisch erschienen und deren Ergebnisse sich photographisch anschaulich darstellen ließen.

Versuch Nr. 3 (Abb. 3a u. 3b)

Geschossen wurde aus einer Entfernung von 30 cm mit dem Karabiner 98 K mit Einstecklauf für Randfeuerpatronen vom Kal. 4 mm auf ein 6 cm dickes Hirngewebe. Bei dem Projektil handelte es sich um ein Rundgeschloß aus Blei, das eine Anfangsgeschwindigkeit (V_0) von etwa 180 - 200 m/sec. hat. Auf der Oberfläche des Hirngewebes waren bereits um den Einschuß herum einige Sägemehlpartikel sichtbar. Im Schußkanal selbst, der etwas zerrissen erschien, fanden sich einzelne Partikel grünen Sägemehls.

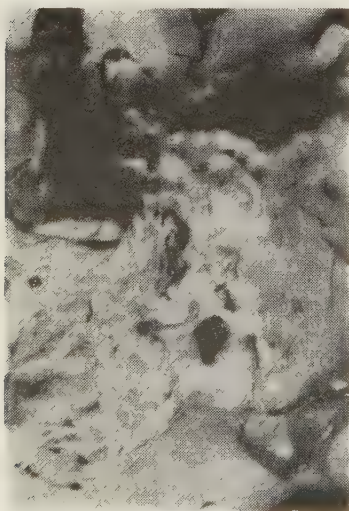


Abb. 3a

Abb. 3b

Aufnahme und schematische Darstellung von der Einsaugung von Sägemehlpartikeln in den Schußkanal nach einem Hirndurchschuß. (Vgl. Text)

Abbildung 3a zeigt den aufgeschnittenen und aufgeklappten Schußkanal mit den hier als dunklen Punkten imponierenden Sägemehlpartikeln. Ein Teilchen fällt durch seine außergewöhnliche Größe in der Mitte der unteren Bildhälfte besonders auf. (Abb. 3b gibt skizzenhaft die Lage der Sägemehlpartikel in Abb. 3a wieder).

Die gefärbten Sägemehlpartikel waren aus dem unter dem Hirngewebe liegenden Perlonstrumpf bis in das Niveau des Einschusses hinaufgesaugt oder gedrückt worden. Die Richtung des Soges läuft der Schußrichtung gerade entgegengesetzt, in der Abbildung also von unten nach oben (1).

Versuch Nr. 6 (Abb. 4a u. 4b)

Die Daten sind die gleichen wie bei dem vorigen Versuch. Der Kanal wurde in der Schußrichtung von oben nach unten breiter und wies in seinem Verlauf zahlreiche Sägemehlpartikel auf.

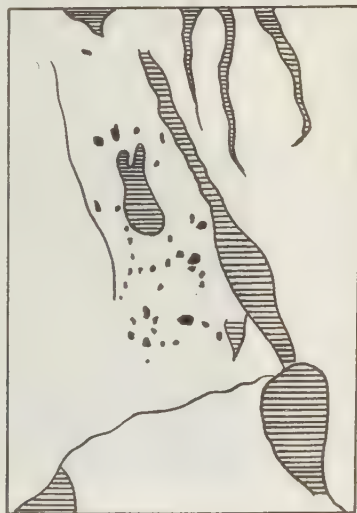


Abb. 4a (Vgl. Text)

Abb. 4b (Skizze zu Abb. 4a)

- (1) Alle Abbildungen sind so dargestellt, daß die Schußrichtung jeweils von oben nach unten verläuft.

Der Unterschied zwischen dunklerer Hirnrinde und hellerem Mark ist deutlich sichtbar. (Der große schwarze, nach oben auslaufende Fleck ist bedingt durch eine Blutung. Kein Partikel !) In diesem Versuch war der Einschuß frei von Sägemehlpartikeln.

Versuch Nr. 19 (Abb. 5)

Geschossen wurde aus einer Entfernung von 60 cm mit einer automatischen Pistole, Kal. 7,65, auf ein 5 cm dickes Hirngewebe. Es handelte sich dabei um ein Stahlmantelgeschosß mit halber Treibladung und einer Anfangsgeschwindigkeit von ca. 145 m/sec. Der Einschuß war rund, wie gestanzt. In seiner Umgebung fanden sich keine Sägemehlpartikel. Der Schußkanal wurde seitlich aufpräpariert und in eine Ebene auseinandergeklappt. Dabei sah man deutlich, die über die ganze Länge des Kanals strichförmig angehäuften Sägemehlpartikel. Der Schußkanal wies im Gegensatz zu den Versuchen Nr. 3 und Nr. 6 nicht so starke Gewebszerreißen auf.

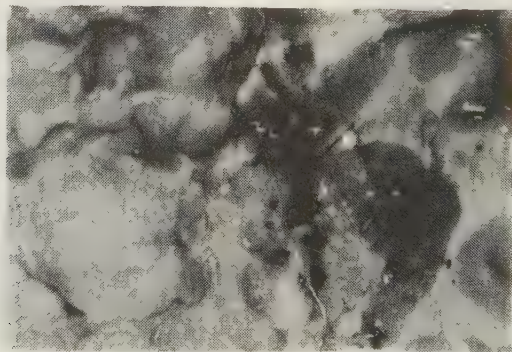


Abb. 5
(Vgl. Text)

Die Daten sind die gleichen wie bei Versuch Nr. 19. Es wurde jedoch aus einer Entfernung von 20 cm geschossen.

Abbildung Nr. 6 zeigt als Aufsichtsaufnahme in der Umgebung des dunklen, fast geschlossenen Einschusses zahlreiche Sägemehlpartikel. In der Mitte der Abbildung sieht man unten ein besonders großes Teilchen. In der Umgebung des Einschusses, hauptsächlich nach unten zu, sind die weichen Hirnhäute zerfetzt und eingerissen. Das Hirngewebe erscheint dadurch heller. Die weißen Flecken sind Reflexe des Elektronenblitzes auf der feucht glänzenden pia mater. Bei der Präparation des Schußkanals fanden sich sehr viele Sägemehlpartikel, die erstaunlicherweise auch in die Querfurchen der Gehirnwindungen bis zu einer Entfernung von 1 cm vom Kanal-lumen entfernt, eingesaugt worden waren.

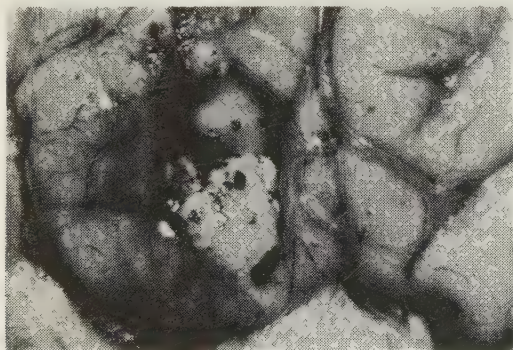


Abb. 6
(Vgl. Text)

Geschossen wurde aus 20 cm Entfernung mit einer italienischen Pistole, Kal. 22 lang, auf Hirngewebe von 7 cm Dicke. Bei dem Projektil handelte es sich um ein verkupfertes Bleigeschoß mit HV- (high velocity) Treibsatz, das eine Anfangsgeschwindigkeit von ca. 310 m/sec erreicht. Auf der Gehirnoberfläche fanden sich im Bereich des Einschusses einige Sägemehlpartikel. Der ganze Kanal war mit zahlreichen Partikeln erfüllt, die in der Aufnahme deutlich erkennbar sind. Die Grenze zwischen Mark und Rinde innerhalb des Schußkanals war infolge stärkerer Gewebszerreißung fließend. Bei der Schußrichtung von oben nach unten, wie in den übrigen Fällen, müssen die Sägemehlpartikel auch hier vom Ausschuß her eingesaugt worden sein.

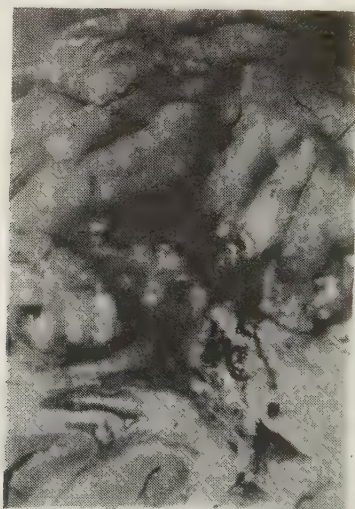


Abb. 7

Versuch Nr. 32 (Abb. 8)

Die Bedingungen sind die gleichen wie im vorigen Versuch. Es wurde jedoch aus einer Entfernung von 30 cm geschossen. Um den etwa erbsengroßen Einschuß herum lagen einige Sägemehlpartikel. Der in Abbildung Nr. 8 besonders deutlich dargestellte Schußkanal zeigt hauptsächlich im oberen Abschnitt zahlreiche Partikel. Die Abgrenzung von Mark- und Rindenschicht im Verlauf des Schußkanals ist verhältnismäßig gut möglich, da die Gewebszerreißen auf Grund der geringeren Geschwindigkeit des Projektils nicht allzu groß waren.

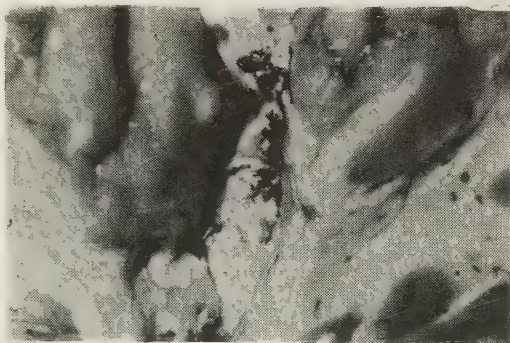


Abb. 8

Versuch Nr. 35 (Abb. 9)

Geschossen wurde aus 30 cm Entfernung mit einem Revolver Kal. 6,35 durch menschliches Hirngewebe von 6 cm Dicke. Es handelte sich dabei um ein Stahlmantelgeschoß mit einer Anfangsgeschwindigkeit von etwa 230 m/sec. Der Einschuß war trichterförmig gestaltet. Sägemehlpartikel waren von oben im Kanallumen sichtbar. Nach der Präparation sah man, daß Partikel über die gesamte Länge des Schußkanals verteilt waren. Abbildung Nr. 9 zeigt den eröffneten Schußkanal mit den verstreut liegenden

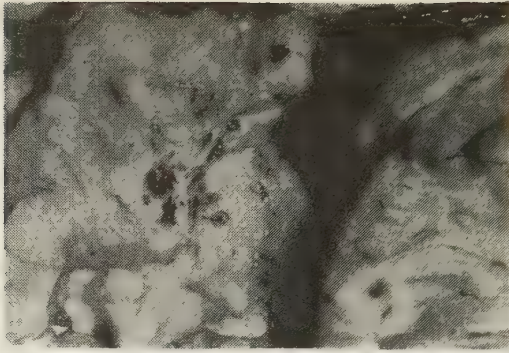


Abb. 9

Sägemehlpartikeln und einem kräftigen Schlagschatten (breites, von oben bis unten reichendes schwarzes Band), der auf die seitliche Beleuchtung zurückzuführen ist.

Versuch Nr. 36 (Abb. 10)

Geschossen wurde aus einer Entfernung von 30 cm mit einer italienischen Pistole des Kal. 22 lang durch menschliches Hirngewebe von 6 cm Dicke. Das Bleigeschoß erreicht mit normaler Treibladung eine Anfangsgeschwindigkeit von ca. 290 m/sec. Der Einschuß war etwa erbsengroß und leicht trichterförmig eingedellt. In seiner Umgebung fanden sich einige Sägemehlpartikel. Abbildung Nr. 10 zeigt im Schußkanal, besonders in der oberen Hälfte, sehr viele und zum Teil auch große Partikel auf hellem, durch die Schußwirkung verändertem Markgewebe.



Abb. 10

Versuch Nr. 41 (Abb. 11)

Die Schußentfernung betrug 60 cm. Geschossen wurde mit einer italienischen Pistole des Kal. 22 lang durch 7 cm dickes menschliches Hirngewe-

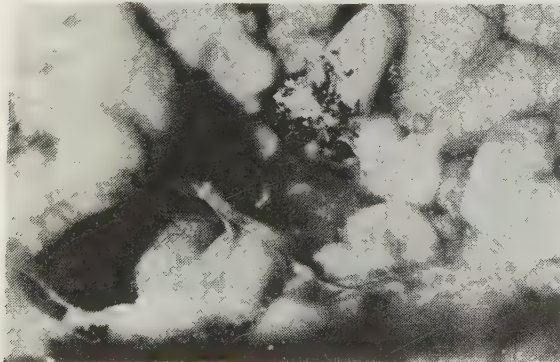


Abb. 11

be. Die verkupferte HV-Bleimunition erreicht eine Anfangsgeschwindigkeit von ca. 310 m/sec. Abbildung Nr. 11 zeigt als Aufsichtsaufnahme den Einschuß, der in seiner Umgebung zahlreiche Sägemehlpartikel aufweist. Die weichen Hirnhäute der benachbarten oberflächlichen Hirnwindungen sind zerrissen. Die fehlende Gefäßzeichnung läßt die entsprechenden Windungen um den Einschuß strukturlos und dadurch heller erscheinen.

Versuch Nr. 50 (Abb. 12)

Geschossen wurde aus 30 cm Entfernung mit einem Sportgewehr des Kal. 22 lang durch menschliches Hirngewebe von 6,5 cm Dicke. Das gehärtete Bleigeschoß erreicht mit HV-Munition eine Anfangsgeschwindigkeit von ca. 400 m/sec. Der Einschuß war stark zerrissen und auf dem eingesunkenen Niveau fanden sich zahlreiche Sägemehlpartikel. In der Abbildung Nr. 12 verläuft der Schußkanal etwas schräg von links oben nach rechts unten. Die Gewebszerreißen im Verlauf des Schußkanals waren in diesem Versuch besonders deutlich ausgeprägt. Trotzdem wies er über die gesamte Länge zahlreiche Sägemehlpartikel auf.

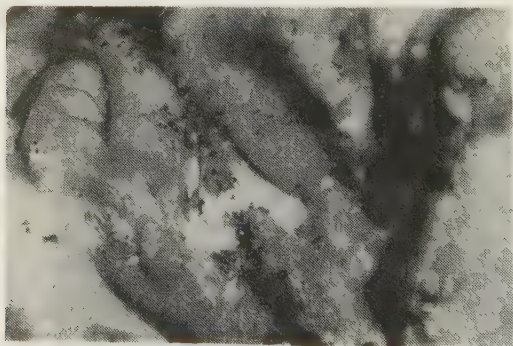


Abb. 12

Die Daten sind die gleichen wie bei dem zuvor beschriebenen Versuch. Es wurde jedoch mit Normalmunition geschossen, die eine Anfangsgeschwindigkeit von ca. 335 m/sec erreicht.

Der Einschuß war geschlossen, etwas trichterförmig eingesunken und mit zahlreichen Sägemehlpartikeln in der Umgebung markiert. Der Schußkanal war hier nicht ganz so zerrissen wie bei dem vorigen Versuch; er war auf seiner ganzen Länge überaus reichlich von Sägemehlpartikeln durchsetzt, die sich jedoch in der Umgebung des Ein- und Ausschusses besonders stark häuften. Auch in den Querfurchen, abseits des eigentlichen Schußkanals, fanden sich einige Partikel.

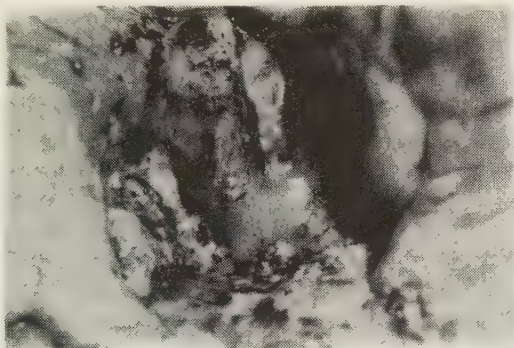


Abb. 13

Überprüft man die Ergebnisse unserer Versuche kritisch, so ist festzustellen, daß bei einer genauen Einhaltung der Versuchsbedingungen beim Durchschuß von menschlichem oder tierischem Hirngewebe ein Effekt auftritt, der als Sog- oder Druckwirkung angesehen werden muß. Er äußert sich darin, daß Fremdkörper, in unserem Fall gefärbtes Sägemehl, vom Ausschuß her durch den oft 5 - 10 cm langen Schußkanal bis in die Umgebung des Einschusses, oft sogar bis an die darüber liegende Abdeckpappe gesaugt, bzw. geschleudert werden können. (Vgl. Versuchsanordnung). Die Möglichkeit, daß die gefärbten Sägemehlpartikel auf einem anderen Weg als durch den Schußkanal kommen konnten, war ausgeschlossen, da sie sich in einem engmaschigen Perlonstrumpf befanden, der von dem darüberliegenden Hirngewebe allseitig bedeckt wurde. Eine trennende Schicht zwischen Gewebe und Sägemehlpartikel war allein deshalb schon nötig, weil sonst die trockenen Sägemehlteilchen an dem feuchten Gehirnboden anhaften und ihre freie Beweglichkeit verlieren konnten. Versuche, bei denen das Gehirn in eine Blechbüchse eingebracht worden war, unter deren verschlossenen Boden sich die Partikel ebenfalls in einem Personstrumpf befanden, verliefen in gleicher Weise positiv.

Der auftretende Explosionsdruck wurde zusammen mit dem Pulverschmrauch wie bereits beschrieben, durch eine Lage Schaumgummi abgefangen. Er kommt somit als Ursache für die Entstehung der Sog- und Druckkräfte nicht in Betracht. Die Sog- und Druckwirkung trat bei nahezu allen Versuchen auf und erwies sich als unabhängig von Kaliber, Form, Material, Gewicht und Geschwindigkeit der von uns im Rahmen unserer Versuchsreihe verwandten Waffen und Munition. Von 58 an Hirngewebe durchgeführten Schießversuchen waren nur 4 negativ verlaufen (1).

Bei dem Versuch Nr. 45 war von einem Geschoß des Kal. 6, 35 beim Durchschuß der abdeckenden Schaumgummilage ein etwa 3 cm langes Schaumstoffteilchen herausgestanzt und in den Schußkanal verschleppt worden, so daß dieser ganz damit ausgefüllt war und Sägemehlpartikel nicht eingesaugt werden konnten. Ein weiteres negatives Ergebnis erbrach-

-
- (1) Zwei Schüsse aus einem leichten Luftgewehr Kal. 4, 5 mm (Versuch Nr. 33 u. 34) konnten nicht bewertet werden, weil die Gewebsschichten nicht völlig durchschlagen wurden. Zwei weitere Projektile mit halber und viertel Treibladung vom Kal. 7, 65 (Versuch Nr. 21 u. 22) blieben im Lauf der Waffe stecken. Damit schieden diese Versuche gleichfalls aus der Bewertung aus.

te der Versuch Nr. 40 (italienische Pistole Kal. 22 lang), weil nur der Rand der Gehirnmasse getroffen wurde. In dem nach der Seite zu offenen Schußkanal fanden sich trotz Eröffnung des sägemehlhaltigen Perlongewebes keine Partikel. Beim Durchschuß einer bewußt sehr klein und dünn (ca. 2 cm) gewählten Gehirnscheibe mit einem Projektil des Kal. 22 lang Normalmunition (Versuch Nr. 54) aus einem Sportgewehr kam es ebenfalls zu keiner Sog- und Druckwirkung. Nur ein einziger Versuch (Nr. 14) verlief aus nicht ersichtlichen Gründen negativ. Es handelte sich dabei um einen Schuß aus einer Pistole vom Kal. 7,65 mit halber Treibladung. Sieht man von diesen vier negativen Versuchsergebnissen (von denen drei durch äußere Bedingungen erklärbar sind) ab, so lassen die übrigen Feststellungen den Schluß zu, daß die beim Durchschießen von Hirngewebe auftretenden Kräfte, die sich in Form eines Soges bzw. Druckausgleiches auswirken, nicht oder nur unwesentlich von der Art der Munition bzw. von dem Kaliber, der Masse oder der Form des Projektils abhängig sind. Die Tatsache, daß auch die in unseren Versuchen verwandten kleinen Rundkugeln vom Kal. 4 mm eine Sog- und Druckwirkung auslösten, beweist jedenfalls, daß für das Zustandekommen dieses Effektes die Form und Größe des Projektils von untergeordneter Bedeutung sein muß. Auch die Masse des Geschosses, die in unseren Versuchen zwischen 0,5 g und 4,75 g variiert wurden, hatten auf die Stärke der auftretenden Sog- und Druckkräfte keinen entscheidenden Einfluß. Ebenso spielt das zur Fertigung der Projektile verwandte Material im Hinblick auf die Stärke der Sogwirkung in unseren Versuchen eine unbedeutende Rolle. Mehr kann an Hand der vorliegenden Versuchsergebnisse zu diesem Thema nicht gesagt werden.

Weit schwieriger dagegen zu beantworten ist die Frage, ob Umfang bzw. Stärke der Sogwirkung von der Geschwindigkeit des Projektils im Augenblick des Durchschusses abhängig sind. Dabei muß zunächst darauf verwiesen werden, daß die Bedingungen bei jedem Schuß in gewissen Grenzen variieren und einwandfreie Vergleichsmöglichkeiten nicht bestehen. So sind die Geschosßgeschwindigkeiten bei derselben Munition keineswegs immer gleich, so daß die Herstellerfirmen auf Grund ihres Beschlusses lediglich eine mittlere Geschwindigkeit angeben, die Abweichungen sowohl nach oben als auch nach unten aufweisen kann. Auch ist zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Lauflängen von Ein- und Zweihandfeuerwaffen bei gleicher Munition unterschiedliche Projektilgeschwindigkeiten bedingen. An Volumen kleinere Bleigeschosse z.B. erfahren durch die Wucht des Aufpralls auf Grund ihrer geringeren Festigkeit eine Stauchung und damit eine flächenhafte Vergrößerung und wirken deshalb ähnlich wie Stahlmantelge-

schosse größeren Kalibers. Je höher ihre Geschwindigkeit, desto größer ist das Ausmaß der Stauchung und damit der Grad ihrer Wirkung. (R. Lorenz (12), Kocher (8)). Außerdem hängt das Maß der Stauchung proportional von der Konsistenz des getroffenen Mediums ab. Da aber diese Festigkeit im Falle der Gehirnmasse nicht als eine konstante Größe angenommen werden kann, sind auch hier exakte Vergleiche weder möglich noch zulässig. Stenger (23) weist in seiner Arbeit z.B. auf die unterschiedliche Schußwirkung an formalingehärtetem, normalem und ödematös verändertem Hirngewebe hin. Ob hier gewisse Gesetzmäßigkeiten gegeben sind, müßte in weiteren Versuchsreihen bei Verwendung von organischem Gewebe möglichst gleicher Konsistenz und sonst konstanten Schießbedingungen geklärt werden. Bei kritischer Begutachtung kann anhand der hier vorliegenden Ergebnisse lediglich gesagt werden, daß der Effekt der Sog- und Druckwirkung in Bezug auf die Menge der in und durch den Schußkanal gesaugten Fremdkörper und Gewebsteile bei den Stahlmantelgeschossen des Kal. 7,65 mit halber Treibladung und einer V_5 (Geschwindigkeit des Projektils 5 m nach Verlassen des Laufes) von ca. 145 m/sec am größten war. Dabei war der Einschuß teils rund wie gestanzt, teils geschlossen, ganz gleich, ob sich in seiner Umgebung Sägemehlteilchen befanden oder nicht. Der Schußkanal war in allen Fällen sehr deutlich ausgeprägt, glattrandig, ohne Zeichen einer hydrodynamischen Wirkung und auf seiner ganzen Länge mit sehr vielen Partikeln durchsetzt. Auch in den vom Schußkanal eröffneten, senkrecht zur Schußrichtung verlaufenden Querfurchen und Windungen fanden sich in vier Fällen noch zahlreiche Sägemehlpartikel, die bis in eine Entfernung von 1 cm vom Kanallumen entfernt gesaugt worden waren. Versuche mit 1/4 Treibladung, also noch geringerer Anfangsgeschwindigkeit, bei gleichem Kaliber, schlugen fehl, da alle Projektile auf Grund des zu geringen Explosionsdruckes im Lauf der Waffe stecken blieben.

Bei Schüssen mit hohen Anfangsgeschwindigkeiten (Überschallgeschwindigkeit) aus einem Sportgewehr vom Kaliber 22 lang HV-Munition mit einer V_0 von ca. 400 m/sec konnte die von allen Autoren beobachtete und beschriebene hydrodynamische Wirkung, die sich in einer weitgehenden Zerreißung des Kanallumens äußerte, beobachtet werden. Dabei dürfte die Stauchung der Bleigeschosse auch eine gewisse Rolle gespielt haben, obgleich es sich bei diesen Versuchen um ein äußerlich verkupfertes, also gehärtetes Projektil gehandelt hatte. Auch bei diesen Versuchen wurden zahlreiche Sägemehlpartikel eingesaugt. -

Welches sind nun die physikalischen Kräfte, die diesen Effekt der Sog- und Druckwirkung am Schußkanal entstehen lassen? In keiner der angegebe-

benen Arbeiten, mit Ausnahme der von Luff (13) und der Bestätigung durch Ronnett (21) und Stenger (23) konnte ein Hinweis auf eine der Schußrichtung entgegengesetzte Sog- und Druckkraft gefunden werden. Lediglich unter den Versuchsbedingungen des absoluten Nahschusses, also bei aufgesetzter Waffe, trat ein Effekt auf, der Blut und Gewebstrümmer in den Lauf der Waffe gelangen ließ und von Brüning u. Wiethold (1), sowie Fraenckel u. Strassmann (5) als Sogwirkung gedeutet wurde. Elbel (4) war jedoch anhand von Filmzeitlupenaufnahmen (2700 Bilder/sec) der Auffassung, daß es sich dabei nicht um einen Sog, ausgehend vom Lauf der Waffe, sondern um ein explosionsartiges Herausschleudern von Blut und Gewebsteilen aus dem infolge der aufgesetzten Waffe unter hohem Druck stehenden Schußkanal in den Lauf hinein handelt. Diese Druckwirkung sei so stark, daß die beim absoluten Nahschuß bekannten und kriminalistisch so wichtigen Stanzverletzungen der Haut entstünden.

Ganz anders liegen dagegen die Verhältnisse bei unseren Versuchen. Hier war die Waffe 20 - 60 cm vom Ziel entfernt, also lediglich im Bereich des relativen Nahschusses und der auftretende Explosionsdruck wurde auf Grund der Versuchsanordnung vollständig abgefangen. Die am Schußkanal entstehenden Sog- und Druckkräfte mußten somit vom Projektil selbst ausgelöst werden.

Den in diesem Zusammenhang auftretenden physikalischen Vorgängen sollen die folgenden Überlegungen gelten :

In unseren Versuchen verwandten wir Munition mit Unter- und Überschallgeschwindigkeit. An der Spitze eines mit Unterschallgeschwindigkeit fliegenden Geschosses herrscht ein Überdruck. Um das Projektil herum entstehen, infolge innerer Reibung und Erhitzung der Luftteilchen, Wirbel, die sich am Geschoßboden ablösen und hinter dem Projektil eine Wirbelstraße bilden. Durch die Luftwirbel am Geschoß entsteht das bekannte Pfeifen, durch das das Herannahen des Projektils akustische angekündigt wird. Am Boden des Geschosses selbst entsteht ein Unterdruck. Bei Überschallgeschwindigkeit wird die Geschoßspitze von einer Kopfwelle begleitet, die nach H. Lorenz (11) der Wellenbildung eines schnell durch das Wasser gleitenden Bootes ähnelt. Von der Geschoßspitze abströmende und verdichtete Luft bildet beim Zusammenprall mit der verdünnten Luft des Geschoßbodens eine neue Druckwelle, die sogenannte Schwanzwelle. Hinter dem Projektil findet sich ebenfalls eine Wirbelstraße. Auch hier entsteht am Boden des Geschosses ein Unterdruck. Kopf- und Schwanzwelle werden fortlaufend neu gebildet. Die in kurzer zeitlicher Folge auf dem Erdboden auftreffende Kopf- und Schwanzwelle erklärt den Effekt des Doppelknalls, der z.B. beim Durchstoßen der Schallmauer durch ein Düsenflugzeug auftritt.

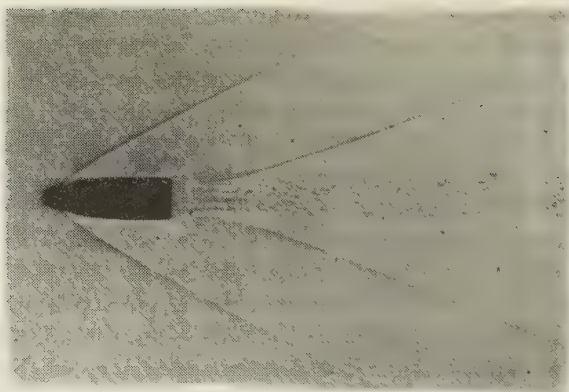


Abb. 14

Kopf- und Schwanzwelle sowie Wirbelstraße eines Projektils bei Überschallgeschwindigkeit.

Wie bereits erwähnt, ist der Grad der Einwirkung auf das Gewebe abhängig von der kinetischen Energie des Geschosses und vom Widerstand, den das getroffene Medium dem auftreffenden Projektil entgegensetzt. Trifft das Geschöß nun auf ein Gewebe, so wird ein mehr oder weniger großer Teil (je nach Art und Konsistenz des Gewebes) seiner ihm innewohnenden kinetischen Energie an das Gewebe abgegeben. Die kinetische Energie läßt sich nach der Formel :

$$E = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

berechnen. (Wobei m die Masse des Geschosses und v^2 das Quadrat der Geschwindigkeit ist.)

Geht man von dieser Formel aus, so ergibt sich, daß die kinetische Energie des Geschosses sowohl durch die Veränderung der Geschwindigkeit, wie auch durch die Masse variiert werden kann. Zur Vergrößerung der kinetischen Energie wird deshalb eine Erhöhung der Geschwindigkeit des Projektils am zweckmäßigsten sein. Mit der Variation der Projektilform ändert sich aber zumeist auch der Querdurchmesser des Geschosses und damit die

Größe des Widerstandes in der Luft, wie auch im Gewebe. Gleichzeitig erfährt damit die für den Sog mitverantwortliche Form des Geschoßbodens eine Veränderung. Auch der Widerstand des getroffenen Gewebes hängt von verschiedenen Faktoren ab, von denen die Struktur, die Festigkeit und die Elastizität eine besondere Rolle spielen. Die Abhängigkeit des Widerstandes eines durchschossenen Gewebes von der Geschwindigkeit und dem Querschnitt des auftreffenden Projektils läßt sich nach Reger (18) anschaulich an folgendem Beispiel erläutern: Zieht man einen Stock von bestimmter Größe durchs Wasser, so nimmt der Widerstand mit steigender Geschwindigkeit zu. Bei konstanter Geschwindigkeit wird er größer oder kleiner mit zu- oder abnehmender Breite des Stockes.

Ob es sich bei den Versuchen um lebendes oder totes Gewebsmaterial handelt, dürfte von zusätzlicher Bedeutung für die Größe des Widerstandes und das Verhalten des Gewebes bei der Bildung eines Schußkanals sein. Das auftreffende und durchschlagende Geschoß gibt somit einen Teil seiner kinetischen Energie an das Gewebe ab und zwar nach Dötsch (3) 1. in Form von Oberflächenarbeit, 2. als Reibungswärme, sowie 3. als kinetische und potentielle Energie, die in Form von Druckwellen dem Gewebe mitgeteilt wird. Bei kompressiblen Medien überwiegen Oberflächen- und Reibungsarbeit, während bei inkompressiblen Medien auch ein großer Teil der Energieübertragung in Form von Druckwellen stattfindet. Durch die Reibung geht ein Teil der Geschoßenergie in Wärme über, die sich in einer geringfügigen Temperaturerhöhung des Gewebes äußert. Auch am Geschoß selbst wird Arbeit geleistet und zwar in Form einer mehr oder weniger starken Erwärmung bzw. Deformierung.

Am Gewebe wird Oberflächenarbeit hauptsächlich dann geleistet, wenn bei großer kinetischer Energie die Gewebsteilchen so schnell in der Richtung der Flugbahn aus ihrem Gewebsverband gerissen werden, daß es nur in geringem Grade zu einer Mitteilung der Bewegung an die Umgebung kommt. (Im Idealfall z.B. bei einem Schuß durch eine Glasscheibe, wobei ein kreisrundes Loch herausgestantzt wird, ohne daß die Scheibe dabei zerspringt.) Alle drei Arten der Energieübertragung kommen mit fließenden Übergängen, je nach Gewebe- und Projektilart, stets gleichzeitig vor.

Die diskutierten physikalischen Kräfte, die sich beim Durchschießen eines Gewebes nachweisen lassen, werden sehr anschaulich in einer Versuchsserie der Firma Olin, Winchester - Western Division dargestellt, aus der die folgenden Abbildungen (Nr. 14 - 18) stammen (1).

(1) An dieser Stelle sei der Firma Olin, Winchester-Western Division für die freundliche Überlassung der Aufnahmen herzlich gedankt.

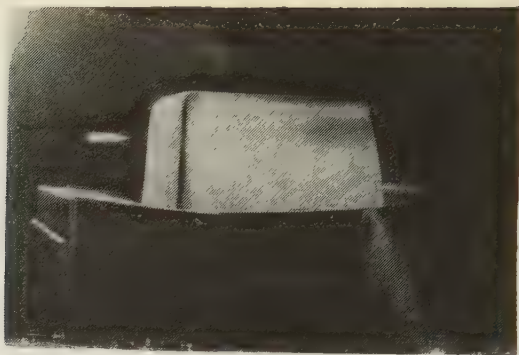


Abb. 15

Abbildung Nr. 15 zeigt ein fliegendes Geschoß, kurz vor dem Auftreffen auf einen rechteckigen Gelatineblock, der auf einer Gummimembran ruht. Beim Auftreffen des Projektils spritzt ein Teil des an der Stelle des Einschusses liegenden Gewebes, je nach seiner Festigkeit und der kinetischen Energie des Projektils nach den Seiten zu weg (siehe Abb. 16). Gleichzeitig erkennt man auf der Abbildung, daß die auf der Gummimembran ruhen-



Abb. 16

Projektil beim Eindringen in einen Gelatineblock

de Gelatinemasse in Höhe der ersten Hälfte des Schußkanals eine geringgradige Auslenkung nach oben erfährt. Abbildung Nr. 17 zeigt dann ein Maximum der Auslenkung nach allen Seiten hin, so daß die Gummimembran auch nach unten zu durchgebogen wird.

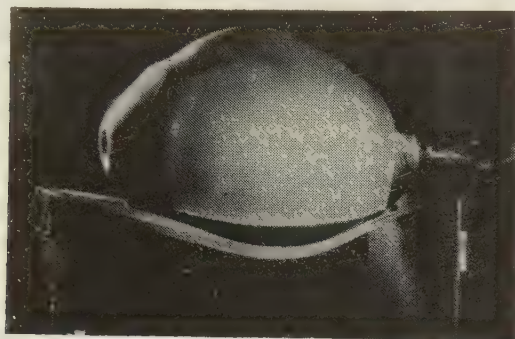


Abb. 17

Starke Deformierung und Ausdehnung des Gelatineblocks unmittelbar nach dem Durchschuß

Anhand dieser, wie auch aller anderen Abbildungen der amerikanischen Versuchsreihe erkennt man, daß die größte räumliche Auslenkung erst dann erreicht wird, wenn das Geschosß den Gelatineblock gerade verlassen hat. Die Geschwindigkeiten der in diesen Versuchen benutzten Geschosse, entsprachen ungefähr unseren Werten. (Zwischen 100 und 400 Yard/sec = 91,4 und 365,7 m/sec.) Hinricsson (7), der anhand von sehr schnellen Filmaufnahmen (8000 Bilder/sec) die äußerst rasch ablaufenden Vorgänge mechanischer und aerodynamischer Art am Schußkanal darstellen konnte, vertritt die Ansicht, daß das seitliche Expandieren bei entsprechend gesteigerter Auftreffenergie (bei Geschwindigkeiten von ca. 250 - 300 m/sec an aufwärts) so groß werden kann, daß die entstehende hydrodynamische Wirkung, umgebende Hüllen zu sprengen in der Lage ist. Nach seiner Meinung wird diese Druckwirkung, die nach Luff (13) geeignet ist, auch in einiger Entfernung vom Schußkanal kleinere Blutungen und Kontusionen hervorzurufen (nach Krauss (9) sogar Knochenfrakturen!), möglicherweise auch durch einen Drallimpuls oder Geschosßvibration ausgelöst. Der auch von

H. Lorenz (11) vertretenen Auffassung, daß das Gewebe durch den Drall weggeschleudert werden könnte, wird man jedoch nach den Feststellungen von Reger (18) entgegenhalten müssen, daß ein Geschloß bei einer Geschwindigkeit von 430 m/sec auf 55 cm nur eine einzige Rotationsumdrehung macht. (Wenn in unseren Versuchen die Geschwindigkeiten auch um einiges niedriger lagen, so wurde das wiederum durch die geringe Dicke des Hirngewebes ausgeglichen, so daß der Drall für die Entstehung einer Sog- und Druckwirkung in unserem Sinne kaum in Frage kommen kann.)

Durch das Auseinanderweichen der Gewebsteile entsteht für einen sehr kurzen Zeitabschnitt ein Hohlraum, der den am Geschloßboden herrschenden Unterdruck zusätzlich noch verstärkt. Krauss (9) spricht in seiner Arbeit von einer "temporären Hohlraumbildung", die etwa 5 - 10 msec bestehen bleibt. Seine Ergebnisse wurden an ausgeschnittenem Muskel- und Lebergewebe wie auch an Gelatine und Plastik mit Hilfe von Röntgenaufnahmen bei Belichtungszeiten bis herab zu 1/Mill sec Dauer erzielt. Allerdings handelt es sich bei diesen Versuchen um Geschloßgeschwindigkeiten zwischen 700 und 1100 m/sec, so daß diese Zahlenangaben mit großer Wahrscheinlichkeit für unsere Versuchsbedingungen nicht ganz zutreffend sind.

Krauss (9) weist im übrigen darauf hin, daß Befunde am ausgeschnittenen Muskel von denen am narkotisierten Tier differieren.

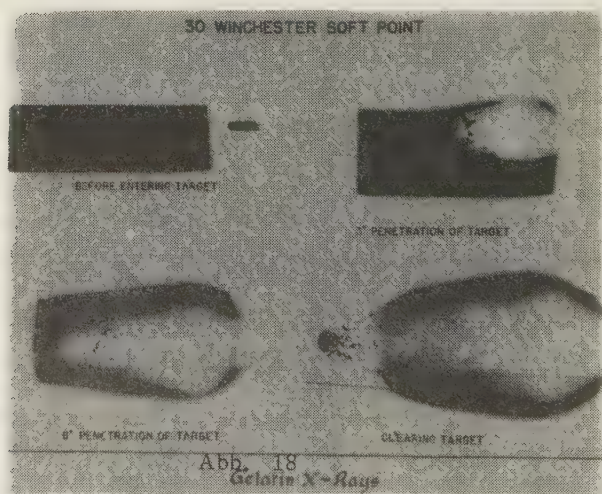


Abb. 18

Recht eindrucksvoll zeigen auch Röntgenaufnahmen einer Gelatinemasse beim Durchschuß mit einem Weichbleigeschoß aus der Versuchsserie der Olin, Winchester-Western Division diese Hohlraumbildungen. (Vgl. Abb. Nr. 18) Wagner (24) hat nun das Vorliegen einer Sogwirkung, wie sie von Luff und Ronnett (14), sowie von uns neuerdings beobachtet wurde, bestritten und dies mit dem Hinweis auf die Versuche von Krauss (9) bezüglich der kurzen Öffnungsdauer des Schußkanals von 5 - 10 msec begründet. Das Einsaugen von Partikeln, wie es von uns beschrieben wurde, (13), (14), wird von ihm auf eine spezifische Eigenart der Alginatmasse zurückgeführt. Demgegenüber muß festgestellt werden, daß die nunmehr durchgeführten Versuche den eindeutigen Beweis dafür erbracht haben, daß kleine Teilchen auch bei direktem Durchschuß durch menschliches oder tierisches Gewebe (ohne Alginat !) rückläufig in den Wundkanal gelangen. Unseres Erachtens sind die von ihm durchgeführten Versuche deshalb nicht beweiskräftig, weil er anstelle von leicht beweglichen und leicht einsaugbaren Partikeln fluoreszierende Uraninlösung benutzte, die in einer Verdünnung von 1 : 10 den zum Versuch ausgewählten Kaninchen an der Stelle des zu erwartenden Ausschusses auf das Fell oder auf die rasierte Haut gepinselt wurde und die, wie wir glauben, nach dem Antrocknen fest anhaftete. Außerdem wurden keine kompakten Weichteile, sondern lufthaltige Körperhöhlen am lebenden Tier durchschossen, wodurch die physikalischen Bedingungen zweifelsfrei verändert wurden. Die Tatsache, daß Wagner (24) kein Uranin im präparierten Schußkanal nachweisen konnte, ist für uns deshalb nicht überraschend, sie zeigt nur, daß seine Versuche mit den von uns durchgeführten nicht vergleichbar sind. Die Annahme, daß der Wundverschluß unmittelbar nach Durchtritt des Projektils in lebendem Gewebe durch die größere Elastizität viel schneller erfolge als in totem Gewebe, so, daß praktisch keine Zeit für eine Sogwirkung vorhanden wäre, ist unseres Erachtens eine Hypothese, die nicht bewiesen ist. Nach den Versuchen von Stenger (23) an totem Gewebe von unterschiedlicher Elastizität dürfte sie kaum berechtigt sein.

Bei Austritt des Geschosses, zu einem Zeitpunkt also, in dem die Wände des Schußkanals in Ausschußnähe sich noch in einer nach der Seite gerichteten Bewegung befinden und damit den Unterdruck am Geschoß noch zu vergrößern geeignet sind, öffnet nach der Meinung von Reichenbach (19) das austretende Projektil gleich einem Ventil das Gewebe und es kommt zu einem Druckausgleich, wobei eine Luftströmung entgegen der Schußrichtung in den Wundkanal hinein entsteht. Dabei muß es zwangsläufig zu einem Mitreißen von leicht beweglichen kleinen Partikeln in die Wunde hinein kommen. Die Größe des Auseinanderweichens hängt ab von der Dämpfung der Gewebeschwingungen. Bei Geweben, die auf Grund ihrer Struktur und Konsistenz

eine zu große Dämpfung haben, fällt die zusätzliche Druckerniedrigung am Ende des Schußkanals mangels Auseinanderweichens des Gewebes fort. Die Stärke des Soges resultiert dann fast ausschließlich auf dem Unterdruck am Geschoßboden. (Als Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme sind unsere Versuche zu werten, bei denen Hirngewebe in eine Blechdose eingebracht wurde, die ein seitliches Expandieren nur in ganz geringem Maße zuließ. Trotzdem fanden sich zahlreiche Sägemehlpartikel im Schußkanal.) So ist es auch zu verstehen, daß die Versuche von Stenger (23) mit dem kaum elastischen Lebergewebe bezüglich der Stärke der Sogwirkung nicht sehr eindrucksvoll waren.

Auch im Bereich des Einschusses kommt es nach Hinricsson (7) zu einer Sogwirkung, durch die zunächst die Wundränder kirkenturmartig nach außen gesaugt werden, eine Erscheinung, die in der angelsächsischen Literatur als "dome" bezeichnet wird. Nach kürzester Zeit werden, wie mit Hilfe sehr schneller Filmaufnahmen festzustellen war, die Ausziehungen in Schußrichtung eingestülpt, ein Vorgang, der möglicherweise mit einer Rückschwingung erklärt werden kann. Wahrscheinlicher aber ist, daß der Druckausgleich im Schußkanal und damit ein Sog ursächlich für diese Einziehung sein dürfte. Die von uns durchgeführten Versuche lassen aber unter Berücksichtigung der zum Teil beträchtlichen Rücksaugung in den Wundkanal den Schluß zu, daß der Druckausgleich in dem für unsere Versuche entscheidenden Maße vom Ausschuß her erfolgt.

Das Auseinanderweichen des Gewebes im Schußkanal und der Unterdruck am Boden des austretenden Geschosses bedingen nach Reichenbach (19), Dötsch (3) und Schlitt (22) einen Druckgradienten (vgl. Abb. Nr. 19), der dem Schußverlauf entgegengerichtet ist. Um diesen Druckunterschied, der nach Schlitt in der Größenordnung von etwa 1 at liegen dürfte, plötzlich auszugleichen, entsteht eine Luftbewegung, die durchaus in der Lage ist, Fremdkörper der diskutierten Größe mitzureißen und so zu beschleunigen, daß sie bei entsprechender Länge des Schußkanals bis in die Gegend des Einschusses und sogar darüber hinaus gelangen.

Die Abbildung Nr. 19 zeigt nun die unterschiedlichen Druckverhältnisse innerhalb des Schußkanals bei verschiedenen Geschossgeschwindigkeiten im Zeitpunkt $t = \text{konstant}$, d. h. im Moment, in dem das Projektil das Gewebe verläßt. Zur anschaulichen Darstellung sind die Druckverlaufskurven über einer Skizze des Schußkanals dargestellt.

Während auf der Abszisse der Weg längs des Schußkanals eingetragen ist, zeigt die Ordinate den Druck P . Die Druckverlaufskurven sind für hohe Ge-

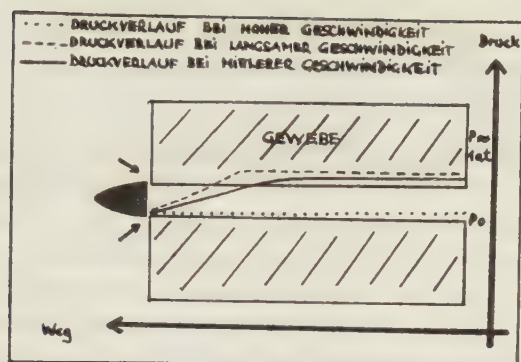


Abb. 19

Druckverläufskurven im Schußkanal bei verschiedenen Geschosßgeschwindigkeiten

schwindigkeiten gepunktet, für langsame gestrichelt und für eine mittlere Geschwindigkeit ausgezogen dargestellt. Das Gewebe ist schraffiert, das Geschosß dunkel wiedergegeben. Die beiden Pfeile am Ausschuß sollen die Richtung des Druckgradienten und damit des Soges im Moment des Projektilaustrittes darstellen. Im einzelnen verhält es sich mit den drei Druckverläufskurven folgendermaßen: Bei sehr hohen Geschwindigkeiten herrscht, da die Luft vom Einschuß her nicht so schnell nachströmen kann, beim Geschosßaustritt praktisch im ganzen Schußkanal der Druck P_0 . Da der Druckausgleich dann annähernd in gleichem Maße vom Ein- und Ausschuß her erfolgt, wird eine Sogwirkung entweder garnicht oder nur in geringem Maße in Ausschußnähe entstehen können. Bei sehr niedrigen Geschosßgeschwindigkeiten dagegen, bleibt der in Schußrichtung nachströmenden Luft genügend Zeit, fast den gesamten Druckausgleich vom Einschuß aus erfolgen zu lassen. Durch das Nachströmen der Luft von der Einschußöffnung her, wird der Druckgradient (in der Abbildung durch die beiden Pfeile am Ausschuß dargestellt) so klein, daß es zu keinem stärkeren Sog entgegen der Schußrichtung mehr kommen kann. Betrachten wir nun die Druckverläufskurven, so zeigt sich, daß es zwischen den beiden Extremen eine bestimmte mittlere Projektilgeschwindigkeit geben muß, bei der ein Optimum des von uns beobachteten Sogeffektes liegt. (ausgezogene Kurve in Abb. Nr. 19).

Nicht berücksichtigt sind in Abbildung Nr. 19 die Elastizitätsverhältnisse des Gewebes, die wie bereits erwähnt, bei entsprechender Struktur und Konsistenz zu einer zusätzlichen Druckerniedrigung innerhalb des Schußkanals und damit zu einer verstärkten Sogwirkung führen können. Auch hier gibt es bei einer bestimmten Geschwindigkeit ein Optimum in bezug auf das Auseinanderweichen der Schußkanalwände.

Somit beruht der Effekt der Sogwirkung auf einer Resultanten, die aus der Gewebselastizität und den aerodynamischen Druckkräften am Ausschuß besteht.

Nach Ansicht von Reichenbach (19) und Hinricsson (7) kommt noch hinzu, daß die Wände des Schußkanals infolge ihrer mehr oder weniger großen Elastizität wieder zurückschnellen und auf Grund ihrer Massenträgheit so lange Pulsationen ausführen, bis die ihnen mitgeteilte Energie aufgebraucht ist. Hinricsson (7) hält es in seiner Arbeit für möglich, daß, bedingt durch die Pulsation, wechselnde Luftströme vom Ein- und Ausschuß her Bakterien und Viren in den Schußkanal einsaugen könnten. Bei unseren Versuchen dürfte dieser pulsatorische Pumpmechanismus allerdings infolge der starken Dämpfung des Hirngewebes kaum eine Rolle gespielt haben.

Berücksichtigt man die vorstehenden Überlegungen über das Wirksamwerden von physikalischen bzw. aerodynamischen Kräften am Schußkanal, so erscheint es möglich, Besonderheiten im Ablauf unserer Versuche näher zu erläutern. Zunächst erhebt sich die Frage, ob die vier negativ verlaufenen Versuche eine schlüssige Begründung finden können. Bei dem ersten Versuch ging der Schuß an den Rand des Hirngewebes und erzeugte dadurch einen nach der Seite hin offenen Kanal. Daß hierbei kein Druckausgleich und deshalb auch kein Sog entstehen konnte ist verständlich. Im zweiten Fall war ein Schaumgummistück in den Schußkanal verschleppt worden, das einen mechanischen Verschuß verursachte. Beim dritten negativ verlaufenen Versuch wurde nur eine sehr dünne Schicht (ca. 2 cm) von Hirngewebe durchschossen. Es zeigte sich auch bei den übrigen Versuchen, daß bei geringer Schichtdicke des durchschossenen Gewebes die Einsaugung von Fremdpartikeln ziemlich schwach ausgeprägt war. Es ist nun einleuchtend, daß der Effekt erst dann auftritt, wenn der Sog eine bestimmte Stärke erreicht. Ist aber die Länge des Schußkanals im Gewebe nicht groß genug, um einen hinreichend starken Unterdruck entstehen zu lassen, dann werden auch keine Sogkräfte auftreten können. Im besonderen spielt hierbei das Verhältnis der relativen Länge des Schußkanals zur Geschoßlänge eine wesentliche Rolle.

Warum der Versuch Nr. 14 negativ verlaufen ist, konnte auch unter Berück-

sichtigung der besprochenen physikalischen Zusammenhänge nicht geklärt werden.

Die Frage schließlich, weshalb bei unseren Versuchen mit Projektilen des Kal. 7,65 bei halber Treibladung und einer Geschwindigkeit von ca. 145 m/sec der Effekt der Sogwirkung am größten war, läßt sich dahingehend beantworten, daß diese Geschwindigkeit der von uns postulierten günstigsten mittleren Projektilgeschwindigkeit (vgl. ausgezogene Linie der Abb. Nr. 19) offenbar besonders nahe kommt.

Zusammenfassung

In experimentellen Untersuchungen über die Wirkung von Handfeuerwaffen beim Durchschuß von menschlichem Gewebe konnten die Ergebnisse von Luff, Ronnett und Stenger bestätigt werden, nach denen rückläufig, vom Ausschuß her, Fremdkörper in den Wundkanal eingesaugt werden.

Ergänzend zu diesen Feststellungen zeigte sich, daß die Stärke der Sogwirkung vor allem von der Geschwindigkeit des Geschosses und der Elastizität des durchschossenen Gewebes abhängt. Form und Größe der bei den Versuchen benutzten Projektile sowie deren Zusammensetzung waren dagegen ohne erkennbaren Einfluß auf den Sogeffekt.

Anhand von aerodynamischen Erkenntnissen und Überlegungen konnte eine physikalisch schlüssige Begründung für das von uns beobachtete Phänomen gefunden werden :

Die Sogwirkung vom Ausschuß her beruht auf einem Druckausgleich zwischen dem am Geschoßboden und innerhalb des Schußkanals entstehenden Unterdruck und dem außerhalb des Schußkanals herrschenden Normaldruck.

Die im Augenblick des Durchschusses auftretenden physikalischen Kräfte lassen die begründete Schlußfolgerung zu, daß die Sogwirkung nicht nur beim Durchschießen von totem menschlichen oder tierischen Gewebe sondern auch in lebendem Gewebe auftritt.

Literaturverzeichnis

1. Brüning, A. u. Wiethold, F.: Beiträge zur Untersuchung und Beurteilung von Geschossen, Waffen und Einschüssen.
Arch. Kriminal. 77, 85, 1925
2. Cranz, C.: Photographische Aufnahmen von sehr rasch verlaufenden Vorgängen, insbesondere von Schußvorgängen, mittels Vorderbeleuchtung durch das Licht elektrischer Funken.
Berlin. Schuß und Waffe. 1913
3. Dötsch, H.: Persönliche Mitteilungen.
Physikalisches Institut der J. W. Goethe-Universität in Frankfurt/M.
4. Elbel, H.: Studien zur Entstehung der Stanzverletzung bei absoluten Nahschüssen.
Medizinische 9, 343-345, 1958
5. Fraenckel, P. u. Strassmann, F.: Zur Entfernungsbestimmung bei Nahschüssen.
Arch. Kriminal. 76, 314, 1924
6. Habart, J.: Das Kleinkaliber und die Behandlung der Schußwunden im Felde.
Safar, Wien 1894
7. Hinricsson, H.: Nya syn punkter pa projektilverkan.
(Neue Gesichtspunkte der Geschoßwirkung.)
Nord. Med. 47, 185-186, 1952
8. Kocher, Th.: Über Schußwunden. Die Wirkung der modernen Kleinkalibergeschosse.
Vogel, Leipzig, 1880
9. Krauss, M.: Studies in wound ballistics. Temporary cavity effects in soft tissues.
Milit. Med. 121, 221-231, 1957
Ref. in : Dtsche. Z. f. gerichtl. Med. 47, 349, 1958
10. Kutterer, R.: Ballistik.
F. Vieweg, Braunschweig, 1959
11. Lorenz, H.: Die mechanischen und thermischen Grundlagen der Lehre vom Schuß.
Verlag : R. Oldenbourg, München u. Berlin.
86-130, 1942
12. Lorenz, R.: Der Schußkanal im Röntgenbild.
Dtsche. Z. f. gerichtl. Med. 39, 435, 1949

13. Luff, K.: Beobachtungen über die Druck- und Sogwirkung von Geschossen nach Knochen- und Weichteildurchschüssen.
Dtsche. Z. f. gerichtl. Med. 45, 414-419, 1956
14. Luff, K. u. Ronnett, A.: Über den Nachweis und die Fixierung der Geschoßwirkung von Handfeuerwaffen mittels Alginaten.
Dtsche Z. f. gerichtl. Med. 47, 603-608, 1958
15. Mueller, B.: Gerichtliche Medizin.
Springer, Berlin 1953, S. 522-562
16. Olin, Winchester- Persönliche Mitteilungen.
Western Division 275 Winchester Avenue, New Haven 4, Connecticut
17. Piédelièvre, R.: Actes du deuxième congrès international de photographie et cinematographie ultrarapide.
1954, S. 390-392
18. Reger, E.: Die Gewehrschußwunden der Neuzeit.
Schultz, Straßburg, 1884
19. Reichenbach, H.: Persönliche Mitteilungen.
Ernst Mach - Institut der Fraunhofer Gesellschaft
Freiburg/Brsg. Eckerstr. 4
20. Riedinger, F.: Über die Wirkung moderner Projektile.
Curt Kabitzsch, Würzburg 1909
21. Ronnett, A.: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Geschossen (Handfeuerwaffen) beim Durchschießen von Alginaten
Med. Diss. Frankfurt a. M., 1957
22. Schlitt, H.: Persönliche Mitteilungen.
Institut für Regelungstechnik an der Technischen Hochschule Hannover.
23. Stenger, E.: Untersuchungen über Druckdifferenzen im Schußkanal bei Weichteildurchschüssen mit Handfeuerwaffen vom Kaliber 7,65 mm.
Med. Diss. Frankfurt a. M. 1963
24. Wagner, H.-J.: Experimentelle Untersuchungen über Art und Ausmaß der Rückschleuderung von Blut und Gewebsteilen bei absolutem und relativem Nahschuß.
Dtsche. Z. f. gerichtl. Med. (im Druck)

Die experimentellen Versuche der vorliegenden Arbeit wurden von Mai bis September 1962 im Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Universität Frankfurt am Main durchgeführt.

Herrn Prof. Dr. med. K. Luff möchte ich an dieser Stelle für die freundliche Überlassung des Themas, sowie für seine Anregungen und Ratschläge bei der Ausführung der Arbeit meinen besten Dank sagen.

Weiterhin gilt mein Dank insbesondere Fräulein Rösser, Frl. Bäuml, Herrn Prof. Dr. Schlitt, Herrn Dr. Reichenbach und Herrn Dötsch, sowie den Mitarbeitern des Institutes für gerichtliche und soziale Medizin für ihre Bemühungen und ihr freundliches Entgegenkommen.

Lebenslauf

Am 8.7.1936 wurde ich, Winfried Hanslmeier, als Sohn des Arztes Dr. med. Andreas Hanslmeier und seiner Ehefrau Ria, geb. Heinrich in Frankfurt am Main geboren.

Vom Herbst 1943 bis zum Herbst 1947 besuchte ich die Friedrich List Volksschule in Frankfurt a. M. -Nied.

Im Herbst 1947 trat ich in das Leibniz-Realgymnasium in Frankfurt a. M. -Höchst ein, wo ich am 1.3.1957 die Reifeprüfung ablegte.

Mein medizinisches Studium begann ich im Sommersemester 1957 an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main und bestand dort am 24.2.1960 meine ärztliche Vorprüfung.

Im Sommersemester 1960 und im Wintersemester 1960/61 studierte ich an der Albert Ludwigs-Universität in Freiburg/Brsg.

In dem darauf folgenden Sommersemester 1961 war ich an der Christian Albrechts-Universität in Kiel immatrikuliert.

Vom Wintersemester 1961/62 an studierte ich wieder in Frankfurt am Main.

Am 29.7.1963 legte ich hier das medizinische Staatsexamen ab.

Vom 1.11.1963 bis zum 8.2.1964 war ich als Medizinalassistent in der Hals- Nasen- Ohren-Universitätsklinik in Frankfurt am Main tätig.

Seit dem 1.3.1964 bin ich in der II. Med. Klinik in Frankfurt a. M. -Höchst.

Frankfurt a. M. -Nied, den 13.9.64

Winfried Hanslmeier

Verzeichnis meiner akademischen Lehrer :

Priv. Doz. Dr. Alnor	Chirurgie
Prof. Dr. W. Amelung	Innere Medizin
Prof. Dr. W. Artelt	Geschichte d. Medizin
Prof. Dr. F. Büchner	Pathologie
Priv. Doz. Bätzner	Orthopädie
Prof. Dr. H. Betke	Hygiene
Prof. Dr. M. Czerny	Physik
Priv. Doz. W. Creutzfeldt	Innere Medizin
Prof. Dr. P. Christ	Innere Medizin
Prof. Dr. Dietz	Innere Medizin
Prof. Dr. Doerr	Pathologie
Priv. Doz. R. Degkwitz	Neurologie
Prof. Dr. P. Duus	Neurologie
Prof. Dr. H. Frick	Anatomie
Prof. Dr. K. Felix	Phys. Chemie
Priv. Doz. K. Feige	Sport
Prof. Dr. J. Frey	Innere Medizin
Prof. Dr. R. Frowein	Neurologie
Prof. Dr. K. Greven	Physiologie
Prof. Dr. H. Giersberg	Zoologie
Prof. Dr. Gärtner	Hygiene
Prof. Dr. O. Grüner	Gerichtsmedizin
Prof. Dr. E. Güntz	Orthopädie
Prof. Dr. J. Gerchow	Gerichtsmedizin
Prof. Dr. W. Halbsguth	Botanik
Prof. Dr. E. Heinz	Phys. Chemie
Prof. Dr. F. Hahn	Pharmakologie
Prof. Dr. L. Heilmeyer	Innere Medizin
Prof. Dr. P. Holtz	Pharmakologie
Prof. Dr. F. Herrmann	Dermatologie
Prof. Dr. R. Heinecker	Innere Medizin
Prof. Dr. K. Herzberg	Hygiene
Prof. Dr. P. Kramp	Genetik
Prof. Dr. H. Krauss	Chirurgie
Prof. Dr. W. Keiderling	Innere Medizin
Prof. Dr. G. Kahlau	Pathologie
Prof. Dr. K. Luff	Gerichtsmedizin

Priv. Doz. Dr. G. Leonardi	Dermatologie
Prof. Dr. H. Müser	Physik
Priv. Doz. Mey	Gynäkologie
Prof. Dr. R. Mittermaier	Hals- Nasen- Ohren
Prof. Dr. R. Ortmann	Anatomie
Priv. Doz. J. Otto	Augenheilkunde
Prof. Dr. Philipp	Gynäkologie
Prof. Dr. H. Pau	Augenheilkunde
Prof. Dr. W. Ried	Chemie
Prof. Dr. P. Royen	Chemie
Prof. Dr. H. Rotter	Pathologie
Prof. Dr. Reinwein	Innere Medizin
Prof. Dr. B. de Rudder	Kinderheilkunde
Prof. Dr. L. Rõka	Phys. Chemie
Prof. Dr. G. Rossberg	Hals- Nasen- Ohren
Prof. Dr. H.J. v. Reckow	Zahnheilkunde
Prof. Dr. D. Starck	Anatomie
Priv. Doz. Dr. Stegmann	Gynäkologie
Priv. Doz. Dr. Schubothe	Innere Medizin
Prof. Dr. E. Stutz	Innere Medizin
Prof. Dr. A. Schwenzer	Gynäkologie
Obermedizinaldirektor O. Schmith	Sozialhygiene
Prof. Dr. R. Thiel	Augenheilkunde
Prof. Dr. E. Ungeheuer	Chirurgie
Prof. Dr. Th. Wieland	Chemie
Prof. Dr. K. Wezler	Physiologie
Priv. Doz. Wöhler	Innere Medizin
Prof. Dr. H. Wimböfer	Gynäkologie
Priv. Doz. Dr. K. Wiemers	Anästhesie
Prof. Dr. Wanke	Chirurgie
Priv. Doz. Wagemann	Hals- Nasen- Ohren
Priv. Doz. Dr. E. Westermann	Pharmakologie
Prof. Dr. K. Weiße	Kinderheilkunde
Prof. Dr. E. Wiedemann	Innere Medizin
Priv. Doz. G. Wilhelm	Kinderheilkunde
Prof. Dr. J. Zutt	Neurologie
Prof. Dr. H. Zimmermann	Pathologie

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät Frankfurt a. M. zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel :

"Untersuchungen über die physikalischen Kräfte im Schußkanal bei unterschiedlicher Größe und Form der Geschosse und bei verschiedenen Geschwindigkeiten."

im Institut für gerichtliche und soziale Medizin unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. K. Luff ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt a. M. -Nied, den 13. 9. 1964

Winfried Hanslmeier

